

適応デジタルフィルタを用いた鉛電池の開路電圧と残存容量の推定

正員 松村 茂 憲 (四国総研)
 非会員 石川 文彦 (四国総研)
 正員 樋笠 博 正 (四国総研)
 正員 大松 繁 (徳島大)
 非会員 丸井 孝 夫 (湯浅電池)
 非会員 中山 昭 文 (四国電力)

Estimation of Open Voltage and Residual Values for Pb Battery by Adaptive Digital Filter

Shigenori Matsumura, Member, Fumihiko Ishikawa, Non-member, Hiromasa Higasa, Member (Shikoku Research Institute Inc.), Sigeru Omatu, Member (University of Tokushima), Takao Marui, Non-member (Yuasa Battery Co., Ltd.), Akifumi Nakayama (Shikoku Electric Power Co., Inc.)

Pb battery has become to be used for the power source of electric vehicle, because of its long life and low cost among the other kinds of batteries. In this case, the range of the vehicle is not so long and the number of charging stations is limited. Thus, in order to predict the residual range, it is necessary to estimate the dischargable value for Pb battery. The open voltage of Pb battery can be used to obtain the above estimated value. Generally, to measure the precise open voltage, it takes much time after cutting the circuit to interrupt discharge.

In this paper, we first explain the experimental system which simulates the electric vehicle and Pb battery discharge. Then, we propose the prediction method of the open voltage by adaptive digital filter (ADF), which enables us to get the predicted value continuously while driving electric vehicle. Based on the predicted value, we propose the method to estimate the residual Wh values. Finally, we apply the present method for experimental real data to show the effectiveness of the approach.

キーワード：適応デジタルフィルタ，鉛電池，開路電圧，残存容量の推定

1. ま え が き

現在使用されている電気自動車の電源には，寿命と価格の面で優れている鉛電池が使用されている。この場合，一充電走行距離が不十分であり，電池を充電する場所の数も限られているのが現状である。従って，走行可能距離を的確に推定することが必要であり，そのためには残存容量を正確に把握することが重要であ

る⁽¹⁾。

この場合，鉛電池の性能を表す指標の一つとして，電池の起電力である開路電圧が用いられており，電気自動車用電池の残存容量の目安として用いられている。

しかし，鉛電池は放電による電圧降下が大きく，かつ化学反応および拡散現象などのため，電圧回復までに長時間を要している。従って，開路電圧を測定する

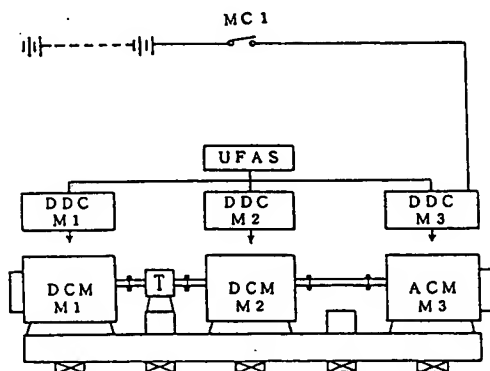
には、電圧降下を止めるためいったん放電を中断し、その後電圧が徐々に回復するまで、長時間待つことが必要であった。そこで、著者らは先に電池回路を遮断し、放電中断後の短時間の端子電圧の変化から開路電圧の推定を行い、電池の残存容量を推定する手法を提案した⁽²⁾⁽³⁾。しかし、この方法では実際に回路を遮断することが必要であり、例えば交通量の多い場所での測定には問題が生じていた。

このため、電池の残存容量を推定するためには、回路を遮断することなく開路電圧を推定することが望まれている。しかしながら、回路を遮断しない場合には、放電中の電流の影響により、測定電圧は不規則に変動することが多い。これらの不規則データから開路電圧を推定するためには、オンライン処理が可能で、かつ短時間で収束する予測手法が要求されている。更に、測定データの基本的特性は時間と共にわずかな変動しているため、適応的なデータ処理手法が有用である。

そこで、本論文では適応デジタルフィルタ（以下、ADFと略記）を用いることにより、回路を遮断することなく、通電中の電圧および電流の測定データから開路電圧を推定する手法を提案する。更に、この推定した開路電圧を用いることによって、鉛電池の残存容量を推定する方法を提案する。最後に、具体的実験により、本論文で提案した手法の有効性を定量的に検討する。

2. 実験システム⁽⁴⁾⁽⁵⁾

本論文で用いる実験システムの主要な構成を図1に示す。実験システムは走行抵抗を模擬負荷とする試験



UFAS: ユニバーサル FA システム
DDC: ダイレクトデジタルコントロール装置
DCM: 直流電動機, ACM: 交流電動機 (誘導電動機)
T: トルクメータ

図 1 実験システム

Fig. 1. Experimental system where UFAS.

装置で、パソコンを介した制御・計測装置からなっている。ここでは、鉛電池を 10 個直列に接続したものを試験装置の駆動用電源とし、以後 EV 駆動テストと呼ぶこととする。EV 駆動テストは、走行抵抗を電動機の発電機運転により発電機の負荷で模擬している。また、車の走行は駆動用電動機を車の走行パターンに応じた回転数で運転することにより模擬している。

本論文の実験において想定した車両モデルおよび走行パターンは以下のようなものである。

(1) 車両モデル このモデルは、重量が約 1,000 kg の普通乗用車クラスの電気自動車で、電動機 4 台を搭載した車両の 1/4 モデルである。

(2) 走行パターン 市街走行を代表する走行パターンを基準とした、以下のパターンを繰返し用いている。加速域：加速度は 4 km/h/s とする。定速域：走行速度は 10, 20, ..., 60 km/h の値から適宜選び、走行時間は 30 秒とする。減速域：2 km/h/s の割合で減速する。停止期間：走行と走行の間に 30 秒間停止する。

3. 適応デジタルフィルタの概要⁽⁶⁾

図 2 に ADF の基本モデルを示す⁽⁶⁾。図において、 x_j, y_j は ADF の入出力、 e_j は目標値 d_j との誤差信号を示し、 j は時間添字を表している。本論文で用いるモデルは、(1) 式で与えられる non-recursive モデルである。

$$y_j = \sum_{k=0}^N b_{k,j} x_{j-k} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 N : フィルタの次数、 $b_{k,j}$: 時間ステップ j におけるフィルタの重み係数

係数の推定は、次式で与えられる Feintuch のアルゴリズムを用いる⁽⁶⁾。

$$\left. \begin{aligned} b_{k,j+1} &= b_{k,j} + v e_j x_{j-k} \\ e_j &= d_j - y_j \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 v は十分小さい正の定数で、最急こう配法におけるステップ幅を示している。

従って、ADF の計算アルゴリズムは以下のような

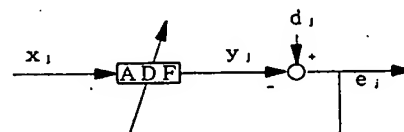


図 2 ADF 基本モデル

Fig. 2. Basic model for ADF.

[Step 1~7]で与えられる。

[Step 1] $v, b_{k,0} (k=0, \dots, N)$ の初期設定

[Step 2] $j=0$ (初期時刻の設定)

[Step 3] x_j, d_j の読み込み

[Step 4] $y_j = b_{0,j}x_j + b_{1,j}x_{j-1} + \dots$
 $\dots + b_{N,j}x_{j-N}$ (予測値の計算)

[Step 5] $e_j = d_j - y_j$ (誤差の計算)

[Step 6] $b_{k,j+1} = b_{k,j} + ve_j x_{j-k}$ (パラメータの更新)

[Step 7] $j=j+1$, [Step 3]へ戻る。

4. ADF による開路電圧予測モデル

本論文では、鉛電池の開路電圧を推定するために、前述の ADF を適用する。そこで、図 3 および図 4 に示すように、鉛電池の電流 I_j および電圧 V_j をそれぞれ ADF の入力および目標値と仮定する。

EV 駆動テストに電池を電源として使用したとき、図 3 の電流 I_j と電池 1 個当たりの端子電圧 V_j の実測例を、図 5 に示す。ただし、 $I_j = I(jT)$ および $V_j = V(jT)$ とし、サンプリング間隔 T は $T=0.756$ 秒である。電気自動車の加速、定速、減速、停止の各走行局面に対応して、電流が増加、一定、減少、0 値の様相をそれぞれ示している。更に、端子電圧 V_j は電池の内部抵抗 r などの影響により、電流の増減とは逆の様相で変動していることが図 5 からわかる。上述のように、この電流 I_j と電圧 V_j を ADF の入力および目標値として、 I_j と V_j に関する ADF モデルを次式のように構成する。

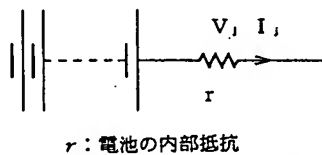


図 3 鉛電池の電圧 (V_j) と電流 (I_j)
 Fig. 3. Voltage (V_j) and current (I_j) of Pb battery where r is resistance of battery.

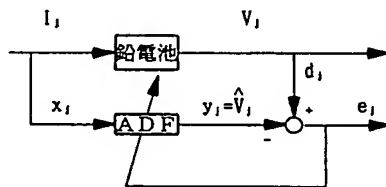


図 4 ADF による鉛電池モデルの同定
 Fig. 4. Identification of Pb battery model by ADF.

$$\hat{V}_j = \sum_{k=0}^N b_{k,j} I_{j-k} + C_j \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$b_{k,j+1} = b_{k,j} + ve_j I_{j-k} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$C_{j+1} = C_j + we_j \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $e_j = V_j - \hat{V}_j$ とし、 \hat{V}_j は V_j の予測値を示す。

なお、本論文では、電圧および電流の平均値がゼロでないことを考慮して、(1)式に定数項 C_j を新たに加えることとする。ただし、 w は C_j に対するステップ幅を示す。 C_j は(3)式からわかるように、電流 = 0 のときの電圧値、すなわち時刻 jT における電池の開路電圧の推定値に相当している。以後この C_j を推定開路電圧とみなすこととする。

次に、モデルの次数 N を決めるため、電池の放電が 62 サイクル目のデータを用いて分散および AIC を計算し、その結果を表 1 に示す。ここで、放電が 1 サイクルであるとは、電気自動車の稼働による放電によって、電池を電源として使用することが困難になるまでのプロセスを意味している。特に 62 サイクル目のデータを選んだ理由は、種々の実験データ中でこのサ

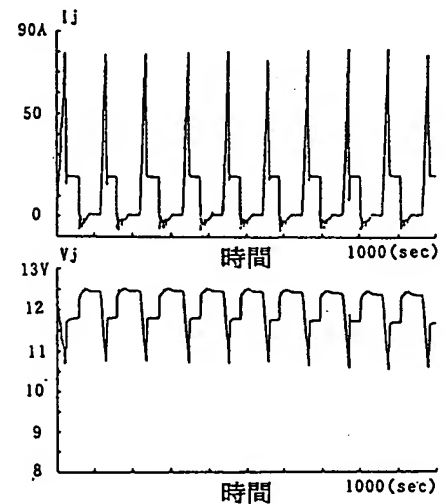


図 5 電流と電圧の実測例
 Fig. 5. Measurement values of current and voltage.

表 1 ADF モデルの次数と精度
 Table 1. Degree and accuracy of ADF model.

次数 N	データ数 DN	分散 $\Sigma e_j^2 / DN$	AIC* (赤池情報量規範)	最終開路電圧 (V)	
				推定値	実測値
0	5,290	0.0584	-6,528	11.986	12.101
1		0.0535	-6,724	12.008	
2		0.0525	-6,748	12.018	
3		0.0585	-6,517	12.025	

* $AIC = DN \cdot \log(\text{分散}) + 2 \cdot (\text{次数})$

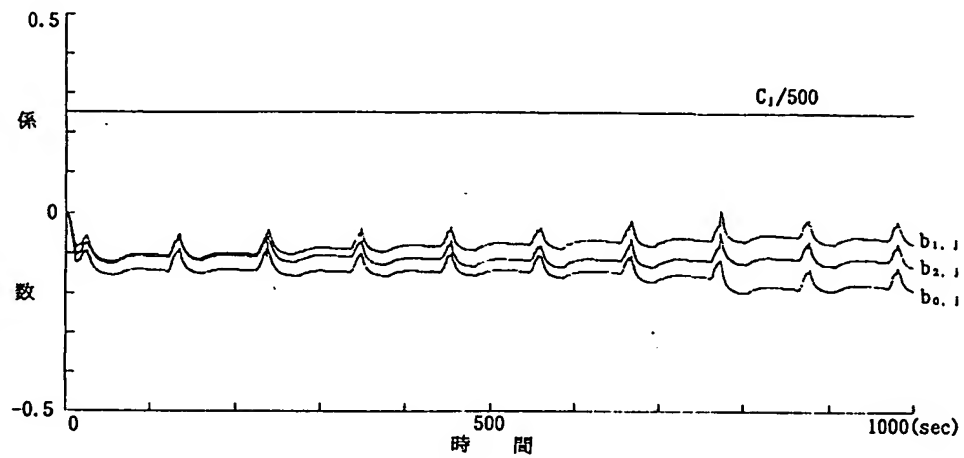


図 6 ADF モデルの係数
Fig. 6. Coefficients of ADF model.

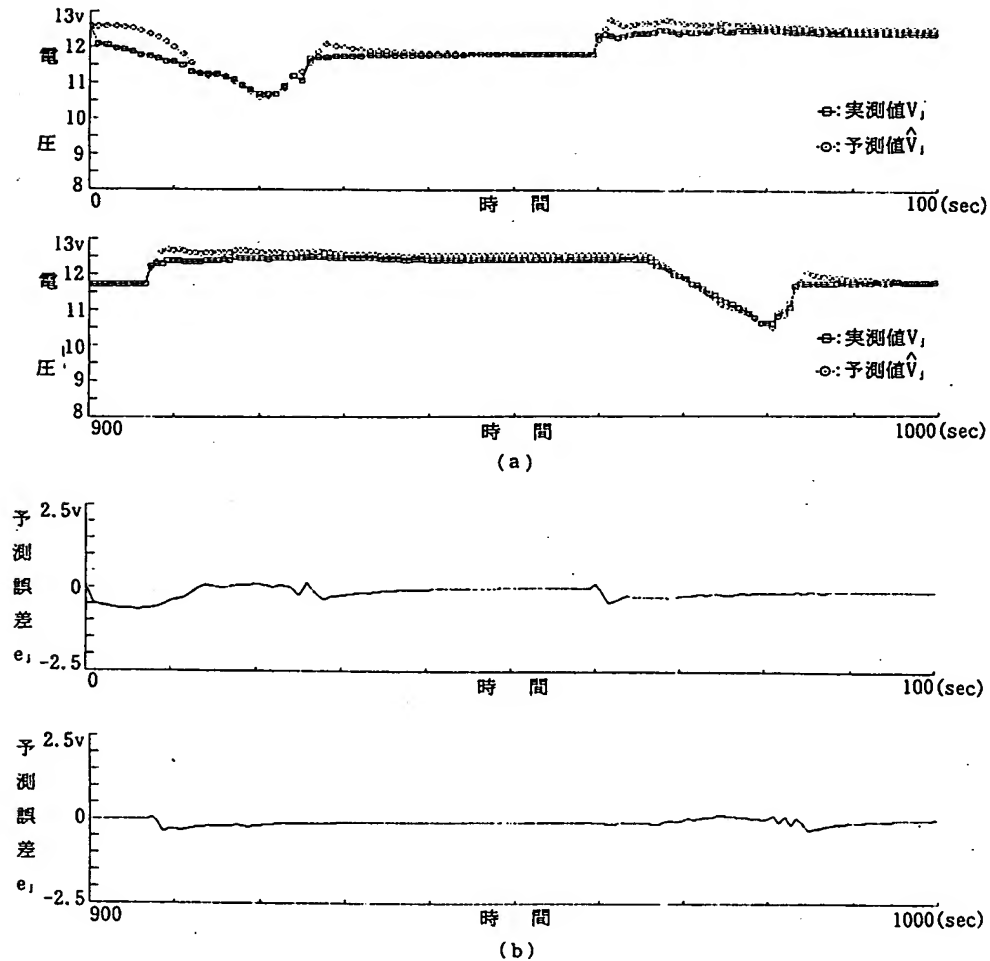


図 7 (a) ADF モデルによる電圧の予測と (b) 予測誤差
Fig. 7. (a) Prediction of voltage by ADF model and (b) prediction error.

イクルの放電電流がかなり大きい値を示し、ADF の予測精度を検証するのが容易なためである。

表 1 からわかるように、次数 $N=2$ の場合が分散と

AIC がいずれも最小となるので、(6) 式で与えられる二次モデルを採用する。

$$\hat{V}_j = b_{0,j}I_j + b_{1,j}I_{j-1} + b_{2,j}I_{j-2} + C_j \quad \cdots \cdots (6)$$

ただし、 C_j の初期値は、実測可能である開路電圧の初期値 (12.598 V) とし、 $v=0.0001$, $w=0.0007$ と設定した。

このモデルにより端子電圧 V_j を予測した場合の係数 $b_{k,j}$ および定数項 C_j の推移を図 6 に示す。また、その推定値と推定誤差をそれぞれ図 7 (a), (b) に示す。ただし、図 7 では 0~100 秒および 900~1,000 秒の間の結果を示している。これらの図から係数は若干の変動があるものの、ADF モデルは端子電圧を精度良く推定していることがわかる。

5. ADF による開路電圧の推定

(6) 式の定数項 C_j が推定開路電圧として妥当であることを、前章と同様に電池の放電 62 サイクル目のデータを用いて検証する。

図 8 は、推定開路電圧 C_j を放電中の実測した端子電圧と共に、その時間推移を示したものである。ここに、●印は 300 ステップ内における実測電圧の最大値を、○は 300 ステップごとの推定開路電圧をそれぞれ示している。推定開路電圧は放電時間の経過と共に、測定電圧より高いレベルで単調に減少しており、一般にいわれている放電に伴う開路電圧の推移傾向と十分合致している。

また、最終の開路電圧の測定値と計算値との比較は、表 1 の最終開路電圧の欄に記載されている。実測値が 12.101 V に対して推定値は 12.018 V であり、ほぼ一致していることがわかる。

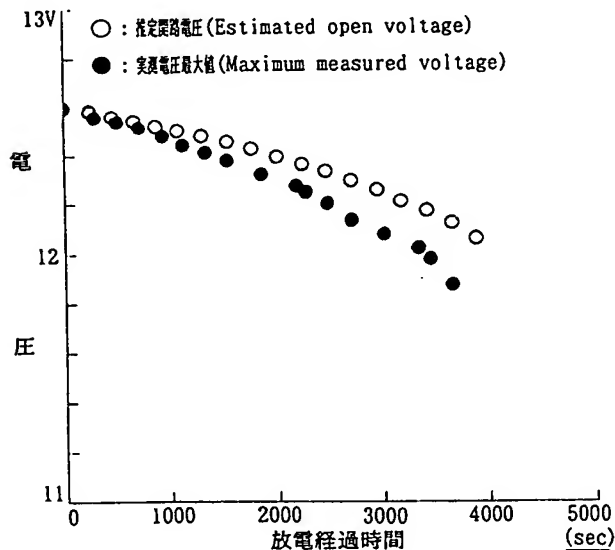


図 8 推定開路電圧と電圧実測値

Fig. 8. Estimated open voltage and maximum measured voltage.

6. 開路電圧と放電量の関係

開路電圧を電池の残存容量 (Wh) と関係づけるためには、開路電圧と放電量との関係を調べる必要がある。

図 9 の●印は、前章の ADF による推定開路電圧と放電量との関係をプロットしたものである。推定開路電圧は、放電が進むにつれて、単調に減少している。この放電量と推定開路電圧の関係を表す推定式を求めるため、回帰分析法および ADF モデル化法によるデータ分析を行う。以下で各係数の値は、放電量の単位が kWh, 電圧の単位が V に対する値である。

〈6・1〉 回帰分析法 図 9 の放電量と推定開路電圧の傾向を勘案して、放電量を予測するために次の二次回帰式を採用する。

$$y = \alpha_j x^2 + \beta_j x + \gamma_j \quad \cdots \cdots (7)$$

ここで、 x : 放電量, y : 推定開路電圧

また、 $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ は時刻 jT までのデータにより推定した回帰係数であり、次の正規方程式を解くことにより求められる⁽⁷⁾。

$$\alpha_j \sum_{i=1}^j 1 + \beta_j \sum_{i=1}^j x_i + \gamma_j \sum_{i=1}^j x_i^2 = \sum_{i=1}^j y_i \quad \cdots \cdots (8)$$

$$\alpha_j \sum_{i=1}^j x_i + \beta_j \sum_{i=1}^j x_i^2 + \gamma_j \sum_{i=1}^j x_i^3 = \sum_{i=1}^j x_i y_i \quad \cdots \cdots (9)$$

$$\alpha_j \sum_{i=1}^j x_i^2 + \beta_j \sum_{i=1}^j x_i^3 + \gamma_j \sum_{i=1}^j x_i^4 = \sum_{i=1}^j x_i^2 y_i \quad \cdots \cdots (10)$$

ここで、 x_i, y_i : それぞれ時刻 iT での放電量および推定開路電圧

この方法により回帰分析した結果につき、その回帰曲線を図 9 の曲線 A に示す。また、各時刻での回帰係数および推定誤差をそれぞれ図 10 (a), (b) に示す。

この結果から、放電量と推定開路電圧の関係は二次

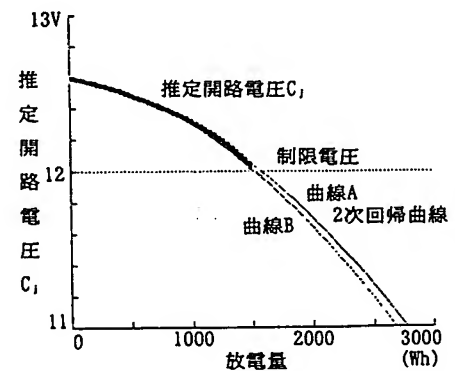


図 9 推定開路電圧と放電量

Fig. 9. Estimation open voltage and discharge values.

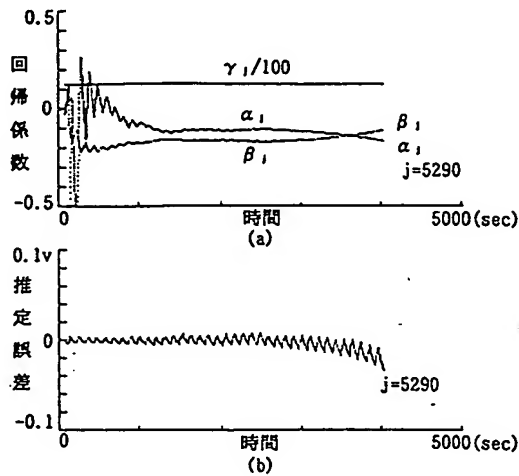


図 10 (a)回帰係数と(b)推定誤差
Fig.10. (a) Regression coefficients and (b) prediction error.

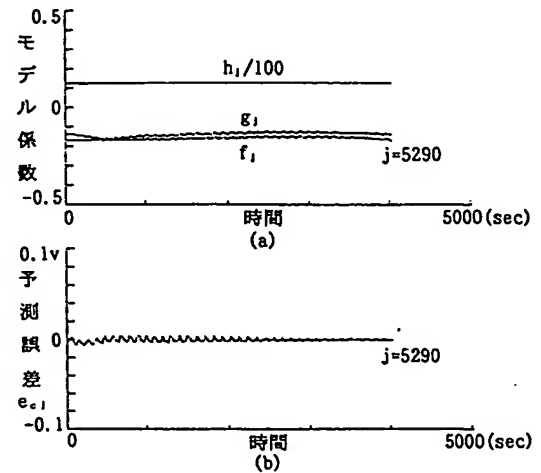


図 11 (a)ADF モデル係数と(b)予測誤差
Fig.11. (a) Coefficients of ADF model and (b) prediction error.

回帰式ではほぼ近似できることがわかる。放電終了時($j=5,290$)での放電量の実測値は 1,488 Wh であり、二次回帰式による放電量の計算値は 1,545 Wh となっている。ただし、この回帰分析法では(8)~(10)式を各 j ごとに解くことが必要であり、かなりの計算時間を必要としている。この点を改良するため、ADF モデル化法による逐次計算法を以下に提案する。

〈6・2〉 ADF モデル化法 前節での検討結果、放電量と推定開路電圧の関係が、二次回帰式ではほぼ近似できることがわかった。この結果を踏まえ、逐次計算に適した次の ADF モデルを適用した方法を提案する。

$$\hat{C}_j = f_j Wh_j^2 + g_j Wh_j + h_j \dots \dots \dots (11)$$

$$f_{j+1} = f_j + p e_{cj} Wh_j^2 \dots \dots \dots (12)$$

$$g_{j+1} = g_j + q e_{cj} Wh_j \dots \dots \dots (13)$$

$$h_{j+1} = h_j + r e_{cj} \dots \dots \dots (14)$$

$$e_{cj} = C_j - \hat{C}_j$$

ここで、 \hat{C}_j : 時刻 jT における推定開路電圧の予測値、 Wh_j : jT における放電量、 f_j, g_j, h_j : 重み係数、 p, q, r : 重み係数更新時のステップ幅

この方法を用いてステップ幅と係数の初期値を種々に変更し、放電量と推定開路電圧の関係を精度良く近似する推定曲線を求めた。その推定曲線が以下のよう

$$\hat{C}_j = -0.1678 Wh_j^2 - 0.1399 Wh_j + 12.598 \dots \dots \dots (15)$$

(15)式で与えられた曲線を用いた予測結果を図 9 の曲

線 B に示す。また、係数および誤差の推移の各々を、図 11(a), (b) に示す。図 9 の曲線 A と B および(8)~(10)式と(11)~(14)式を比較すると、ADF モデル化法による放電量推定法のほうが回帰分析による方法よりも、計算時間および精度の点で優れていることがわかる。

7. 開路電圧による残存容量の推定

前章までの検討により、推定開路電圧と放電量の関係は、放電量の二次式ではほぼ近似できることが明らかになった。そこで、この二次式を用いることにより、図 12 に示すように推定開路電圧の現在値とその制限値との差に相当する放電量を、残りの可能放電量(残存容量)として推定することが可能である⁽²⁾⁽³⁾。

そこで、前述のように計算が簡単な ADF モデル化法を適用し、残存容量の推定を行う。この場合、図 11(a) に示すように放電の初期においては、モデルの係数が安定していないために、推定精度の悪いことが予想される。従って、この放電初期を含む前半の期間は、推定式として過去の放電の繰返して得られた平均的な二次回帰式(以後基準式と呼ぶ)を用い、後半の期間は ADF モデル化法を用いることとする。すなわち、以下の(1), (2)項の 2 段階推定法により、残存容量を予測する。

(1) 放電前期の推定 前期での推定式は次式とする。

$$V_0 = \alpha Wh^2 + \beta Wh + \gamma \dots \dots \dots (16)$$

ここで、 V_0 , および Wh : それぞれ推定開路

電圧および放電量, α, β, γ : 回帰係数

開路電圧の制限値を V_1 としたとき, 開路電圧がこの制限値に達したときの総放電量 Wh_i は, (16) 式において $V_0 = V_1$ を代入し,

$$Wh_i = [-\beta - \{\beta^2 - 4\alpha(\gamma - V_1)\}^{1/2}] / 2\alpha \cdots (17)$$

により求められる。ここで, 現在の放電量を Wh_n とすれば, 残存容量 Wh_r は次式で与えられる。

$$Wh_r = Wh_i - Wh_n \cdots (18)$$

(2) 放電後期の推定 推定計算時刻 jT までに, (11)~(14) 式により推定した ADF モデルを,

$$V_0 = f_j Wh^2 + g_j Wh + h_j \cdots (19)$$

とし, (1) と同様に残存容量を次式により求める。

$$Wh_i = [-g_j - \{g_j^2 - 4f_j(h_j - V_1)\}^{1/2}] / 2f_j \cdots (20)$$

$$Wh_r = Wh_i - Wh_n \cdots (21)$$

なお, 前期と後期の区分は残存容量の推定値が区分の境界で急激に変化しないよう選ぶ必要があり, 本論文では表 2 で与えられた放電期区分によるものとする。

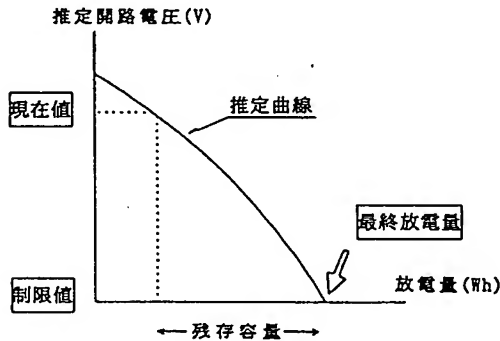


図 12 残存容量の推定
Fig. 12. Estimation of residual value.

表 2 放電条件と計算定数
Table 2. Discharge condition and calculation constant.

実験ケース	A	B	C
放電条件 (走行パターン)	定速部 10~60 km/h ランダム	定速部 30 km/h	定速部 60 km/h
開路電圧推定 ADF モデル	v w	0.0001 0.00035	0.0007 0.0007
残存容量推定基準式	$V_0 = -0.169Wh^2 - 0.139Wh + 12.615(V)$		
開路電圧制限値	$V_1: 12.0(V)$		
放電期区分	初期開路電圧~開路電圧制限値の範囲の50%に低下したとき		
残存容量推定 ADF モデル	p, q r	0.14 0	

8. 残存容量推定結果

本章では, 電気自動車の代表的市街走行パターンを模擬して, 電池の放電を行った場合の三つのケース (ケース A, B, C) の実験データに対して, 前章で提案した方法を用いた推定を行い, その有効性を検証する。なお, 各ケースの放電条件および計算に使用した定数を表 2 に示す。

A, B, C の各ケースについて, 残存容量の推定結果をそれぞれ図 13~図 15 に示す。

これらの図からわかるように, 各ケースとも残存容量は放電経過と共に漸減し, 一方, 既に消費した放電

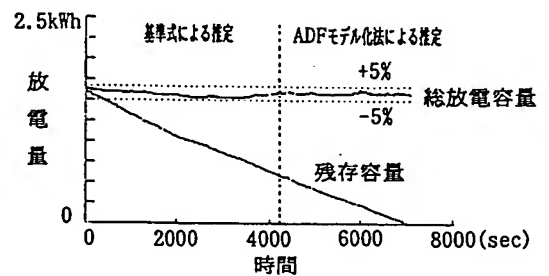


図 13 残存容量の推定 (ケース A)
Fig. 13. Estimation of residual values (case A).

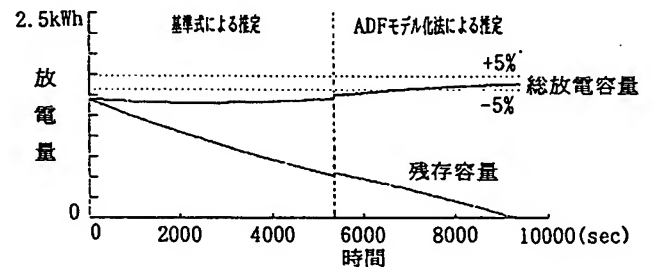


図 14 残存容量の推定 (ケース B)
Fig. 14. Estimation of residual values (case B).

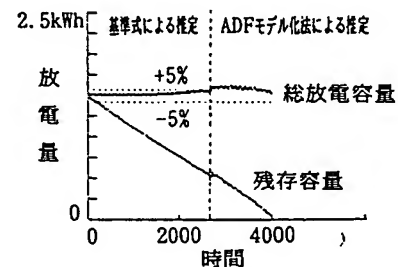


図 15 残存容量の推定 (ケース C)
Fig. 15. Estimation of residual values (case C).

量をこれに加えた総放電容量は、後期においては各ケースともほぼ最終測定値の $\pm 5\%$ の範囲内で推移している。実際の市街走行に近いと考えられる、ランダム走行パターンのケース A では、特にその精度が良好であることがわかる。また、高速運転時に対するケース C の場合にも、ほぼ同様の予測精度が得られることが示されている。

ケース B の場合は、比較的ゆっくりした放電であり、開路電圧の変化が平均的な基準式の傾向に比べて緩やかである。従って、基準式を推定に適用する前期において残存容量が小さめに計算され、総放電容量は約 -10% まで低下している。ところで、電気自動車の走行においては、放電後期の精度が重要であり、前期における 10% の誤差は実用上あまり重要な問題ではない。従って、本論文で提案した残存容量の推定手法は、種々の走行パターンに対しても有効な手法であると思われる。

9. む す び

本論文では、鉛電池の残存容量を推定するために、ADF を適用する手法を提案した。まず、電池の指標となる開路電圧の推定方法およびそれを用いた残存容量の推定方法を考案した。更に、実験データを用いて、それらの有効性を定量的に検証した。

その内容を要約すると、以下のようになる。

(1) ADF を用いることにより、電池の放電を中断することなく開路電圧が推定できる。

(2) 推定した開路電圧は、電池の放電量と相関関係があり、二次式でほぼ近似できる。

(3) (2) の二次式を用いて、放電中の推定開路電圧および放電量から、電池の使用限界までの残存容量が精度良く推定できる。

本論文では、残存容量に関し Wh 値を推定する方法を提案したが、電気自動車の走行においては、その走行可能距離を知ること重要である。本論文での手法を用いた走行可能距離の推定に関しては、現在検討中である。

(平成 3 年 9 月 2 日受付)

文 献

- (1) (財)日本電動車両協会：電気自動車用電池残量計の調査研究報告書 (昭 63)
- (2) 松村・石川・樋笠・大松・丸井：「鉛電池の回帰式による放電量推定方法の一考察」, 平 3 電気学会電子・情報・シ全大, B-5-4
- (3) 松村・石川・樋笠・大松・丸井：「鉛電池の回帰式による放電量推定方法の一考察」, システム制御情報学論, 440, (平 3-10)

- (4) 樋笠・石川・松村：「EV 駆動テストによる走行模擬試験」, 平 2 電気関係学会四国連大, 8-5
- (5) 松村・石川・樋笠・大松：「EV 駆動テストによる走行模擬試験と駆動用電動機の性能比較」, 第 35 回システム制御情報学会研究発表講演会, 1015 (平 3)
- (6) 添田・中溝・大松：信号処理の基礎と応用 (昭 61) 日新出版
- (7) 小林：相関・回帰分析法入門 (昭 62) 日科技連



松 村 茂 憲 (正員)

昭和 23 年 9 月 6 日生。47 年京都大学工学部電気工学科卒業。同年四国電力(株)入社。現在、(株)四国総合研究所および徳島大学大学院工学研究科博士後期課程において、電気自動車に関する技術の研究に従事。



石 川 文 彦 (非会員)

昭和 21 年 4 月 26 日生。44 年大阪大学工学部電気工学科卒業。同年四国電力(株)入社。62 年(株)四国総合研究所に出向。同年負荷平準化技術研究室首席研究員。以来、負荷平準化技術の研究に従事。



樋 笠 博 正 (正員)

昭和 6 年 1 月 8 日生。26 年旧制新居浜工業専門学校卒業。同年四国電力(株)入社。63 年(株)四国総合研究所負荷平準化技術研究所室長。41 年、平成 3 年電気学会論文誌, 41 年アメリカ電気電子学会論文誌に開閉サージ、安定度解析の論文を掲載。第 13, 30 回オーム技術賞。情報処理学会会員。



大 松 繁 (正員)

昭和 21 年 12 月 16 日生。49 年大阪府立大学大学院工学研究科博士課程修了。同年徳島大学工学部情報工学科助手, 63 年同知能情報工学科教授となり、現在に至る。適応制御、分布定数系の推定と制御、ニューラルネットワークなどの研究に従事。工学博士。平成 3 年電気学会論文賞受賞。計測自動制御学会, SIAM, IEEE 会員。



丸井孝夫 (非会員)

昭和14年6月10日生。38年姫路工業大学応用化学科卒業。同年湯浅電池(株)入社。現在、中央研究所第二研究部主幹。電気自動車、ロードレベリング、風車など、クリーンエネルギー関係の研究に従事。



中山昭文 (非会員)

昭和35年1月28日生。57年成蹊大学工学部電気工学科卒業。同年四国電力(株)入社。以来、配電業務、需要開発業務に従事。現在、営業部需要開発課で産業需要開発業務に従事。